



**MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DE SOFTWARE PARA GUÍAS DE LABORATORIO,
C.A.C.**

GRUPO DE AUTOMÁTICA Y DISEÑO A+D

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD INGENIERÍA ELECTRÓNICA
MEDELLÍN 2015**

Los derechos morales pertenecen a:

Andrea Uribe Rendón, Estudiante, Facultad de Ingeniería Electrónica,
Universidad Pontificia Bolivariana.

Juan Camilo Monsalve Machado, Estudiante, Facultad de Ingeniería Electrónica,
Universidad Pontificia Bolivariana.

Marisol Osorio, Docente investigadora TC, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica,
Universidad Pontificia Bolivariana.

Los derechos de explotación pertenecen a:

Universidad Pontificia Bolivariana.

Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda, Rector General, representante legal.

Pbro. Jorge Iván Ramírez, Vicerrector Académico.

Dra. Piedad Felisinda Gañán, Decana, Escuela de Ingenierías.

Esp. Juan Carlos Palacio Piedrahíta, Director, Facultad de Ingeniería Agroindustrial.

Mg. Hugo Alberto Cardona, Director, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Dr. Rafael Esteban Vásquez Moncayo, Coordinador, Grupo de Automática y Diseño A+D.

Este manual fue elaborado por:

Andrea Uribe Rendón, Estudiante, Facultad de Ingeniería Electrónica,
Universidad Pontificia Bolivariana.

Juan Camilo Monsalve Machado I, Estudiante, Facultad de Ingeniería Electrónica,
Universidad Pontificia Bolivariana.

Marisol Osorio, Docente investigadora TC, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica,
Universidad Pontificia Bolivariana.

OBSERVACIONES GENERALES PARA EL USO DEL SOFTWARE

Es indispensable tener claro que el software ConLabCAC_V1.0 corre sobre LabVIEW y se enlaza con una plataforma desarrollada previamente con el software ConcamLV2.0 para el PLC. El manual de operación mencionado en el literal 4 de las observaciones generales a continuación, permite conocer a fondo la configuración necesaria del PLC.

Para el uso del *software* de laboratorio ConLabCAC_V1.0 se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Debe instalarse LabVIEW de *National Instruments* en el computador de trabajo (Figura 1).
2. Si se desea ejecutar la práctica de lógica difusa, se procede a instalar el “PID and Fuzzy Logic Toolkit” para LabVIEW.
3. La comunicación del software (PC) y la cámara de ambiente controlado se realiza a través del protocolo industrial Modbus, por lo tanto es necesario conectar el cable serial de la máquina al PC para establecer la conexión. **Nota:** En caso de necesitar un cable USB-serial, se recomienda usar un cable de buenas características y corto, para evitar desconexiones entre el PC y la máquina (ver Figura 2).
4. Tener en cuenta las recomendaciones, precauciones y operación general de la cámara de ambiente controlado especificadas en el “MANUAL DE OPERACIÓN DE UNA CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO” desarrollado anteriormente por Jorge Andrés Cardona Gil y Juan Pablo Pazos Urrea para el software ConcamLV2.0. La operación de ConLabCAC_V1.0 es similar a la de ConcamLV2.0, así que es necesario configurar el PLC de forma similar.



Figura 1. Logo software LabVIEW de National Instruments



Figura 2. Cable USB – serial

OPERACIÓN INICIAL DEL SOFTWARE

Pasos para la operación inicial del software:

1. Verificar la operación general de la cámara de ambiente controlado propuesta en el “MANUAL DE OPERACIÓN DE UNA CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO”.
2. Desde el PC dispuesto para trabajar en el *software*, ingresar a la carpeta ConLabCAC_V1.0 y abrir el archivo ejecutable **ConLabCAC_V1.0.exe**. El programa se ejecuta automáticamente una vez sea abierto. **Nota:** En caso de existir un acceso directo en el escritorio, basta solo dar doble *click* al ícono **ConLabCAC_V1.0.exe** para ejecutar el programa.
3. Verificar que la comunicación Modbus está activa.

SOTWARE C.A.C: INTERFAZ DE USUARIO

Por medio del *software* ConLabCAC_V1.0 es posible realizar tres prácticas de laboratorio y una muestra introductoria, donde se podrá conocer un poco más acerca de la cámara de ambiente controlado. El *software* permite realizar pruebas para obtener un modelo la cámara de ambiente controlado, aplicar controladores convencionales PID y controladores de Lógica Difusa a la máquina, para controlar el sistema de calefacción. Además, permite hacerle seguimiento y descubrir los cambios de la humedad relativa con respecto al control de la temperatura del sistema.

La secuencia del *software* de la cámara de ambiente controlado se puede ver en la Figura 3.

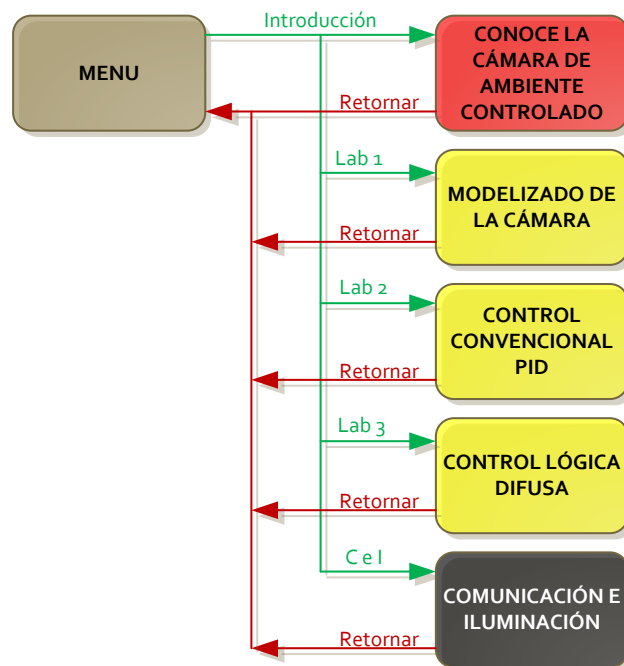


Figura 3. Secuencia general en bloques del Software ConLabCAC_V1.0

1. Menú principal

Inicialmente, al momento de abrir el *software* se muestra un menú principal (Figura 4), de donde es posible acceder a la interfaz de cada una de las prácticas de laboratorio. Una vez se ejecute el programa, los seis botones del menú principal (**CONOCE LA CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO, MODELIZADO DE LA CÁMARA, CONTROL CLÁSICO P+I+D, CONTROL LÓGICA DIFUSA, COMUNICACIÓN E ILUMINACIÓN Y SALIR**) quedan automáticamente activados para ser usados. Basta con hacer un *click* sobre cualquier botón, para ingresar a la ventana deseada o *click* sobre el botón **SALIR** para detener el *software*.



Figura 4. Menú principal

En cada ventana se incluye el logo de la universidad Pontificia Bolivariana como encabezado, la fecha y la hora actual y el nombre de la ventana.

IMPORTANTE: Antes de comenzar a usar el *software* en cualquiera de sus ventanas, es necesario verificar que:

1. La cámara de ambiente controlado esté encendida, es decir, que el selector de muletilla de la máquina este en ON (ver Figura 5).
2. El PLC de la cámara se encuentre en la configuración correcta para operar. Inicialmente, al momento de encender el PLC se muestran 4 displays diferentes (Figura 6). El cambio entre los displays tiene una duración de 5 segundos cada uno. En el cuarto display se muestra el menú principal, el cuál le brinda la posibilidad al usuario de escoger entre 3 opciones diferentes. En este caso, se debe ingresar a la opción 2. ControlPC presionando el número en el teclado que la representa.
3. Verificar que el nivel del agua del sistema de humidificación sea el correcto según el “MANUAL DE OPERACIÓN DE UNA CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO”.



Figura 5. Selector tipo muletilla

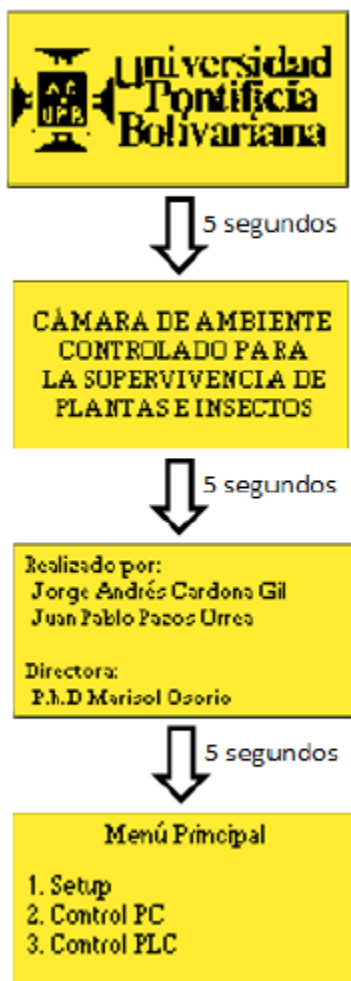


Figura 6. Secuencia mostrada en la pantalla del PLC al momento de encenderlo, tomada de MANUAL DE OPERACIÓN DE UNA CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO.

Todas las ventanas, excepto la de comunicación e iluminación cuentan con un botón **CONTROLAR** y otro **REGISTRAR DATOS** (ver Figura 7). El botón **CONTROLAR** permite que una vez se completen los parámetros requeridos, la cámara de ambiente controlado ejecute el control programado en cada una de las rutinas que se pueden seleccionar desde los diferentes botones. El botón **REGISTRAR DATOS** se activa automáticamente cuando se pulsa el botón **CONTROLAR**, y permite que los datos sean registrados y guardados en un archivo .csv. El usuario puede tomar la decisión de activar o desactivar la opción de registrar los datos cuando desee. **Nota:** Para que los botones **CONTROLAR** y **REGISTRAR DATOS** cumplan su función,

es necesario que las comunicaciones estén bien configuradas según la explicación de la sección 2 (Comunicación e iluminación).

Cuando el programa comienza a controlar la máquina, automáticamente el tiempo en ejecución del cuadro ubicado en la parte superior derecha de la pantalla comienza a incrementar. En caso que queramos reiniciar dicho tiempo dar *click* en el botón **REINICIAR** (Figura 8), es posible reiniciar el tiempo de ejecución de la ventana con o sin el botón **CONTROLAR** activo.



Figura 7. Botones para controlar y registrar datos en el *Software* ConLabCAC_V1.0

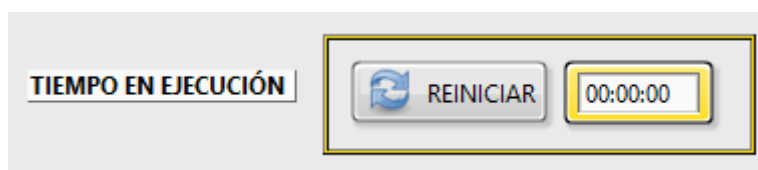


Figura 8. Cuadro del tiempo en ejecución y botón reiniciar del *Software* ConLabCAC_V1.0

2. Comunicación e iluminación

Es necesario verificar que la conexión entre el PC y la cámara de ambiente controlado (PLC) estén establecidas, por lo tanto se debe dar *click* sobre el botón negro **COMUNICACIÓN E ILUMINACIÓN** del menú principal.

Después dar *click*, el *software* accederá a la ventana “COMUNICACIÓN Y CONTROL ILUMINACIÓN” (Figura 9), donde se accede al control y configuración de las comunicaciones y la iluminación de las lámparas fluorescentes de la cámara.

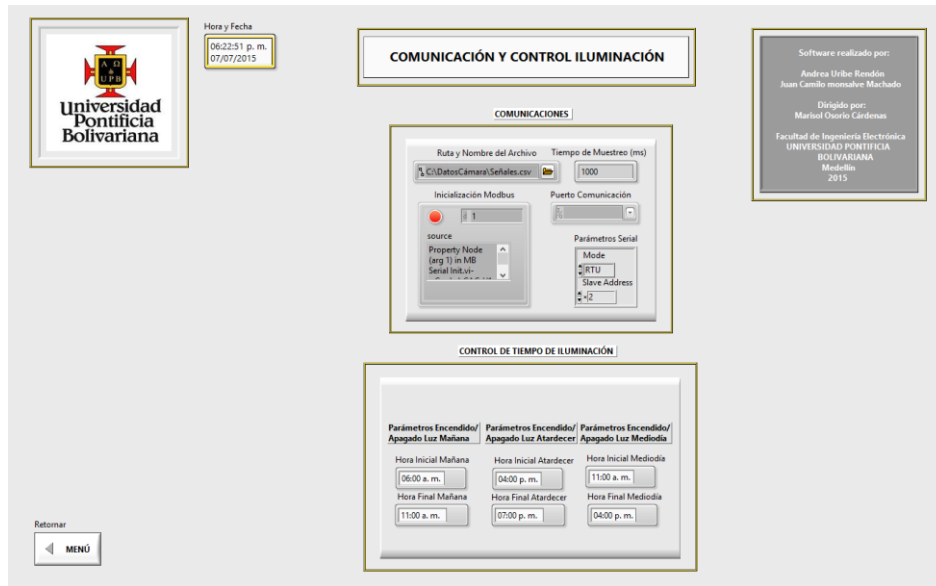


Figura 9. Ventana de comunicación y control de iluminación del *software* ConLabCAC_V1.0

En el cuadro de comunicaciones se visualiza la ruta y el nombre del archivo .csv, en donde se almacenarán los resultados de las diferentes ejecuciones. Después de cada experimento, el usuario debe irse al directorio y salvar los datos deseados para que no se sobrescriban. También se visualiza el tiempo de muestreo del *software*, el puerto de comunicación, los parámetros del puerto serial (la configuración por defecto es RTU), y el cuadro de la inicialización del Modbus, donde se podrá observar si la comunicación entre el PC y el PLC se estableció (indicador verde) o no ha sido establecida aún (indicador rojo) (Figura 10).

Si la comunicación entre el PC y el PLC no se estableció y el *software* está funcionando con un computador fijo es necesario detener y cerrar la aplicación, volver abrirla y verificar si ya la conexión fue establecida. Si la comunicación entre el PC y el PLC no se estableció y el *software* está funcionando con un portátil o computador esporádico verificar si el puerto de comunicación seleccionado si es el correcto, si no lo es, escoger la opción deseada, cerrar la aplicación, volver abrirla y verificar si ya la conexión fue establecida.

Si definitivamente, el indicador de la inicialización del modbus no es verde, cerrar el programa y verificar la conexión física del cable serial.

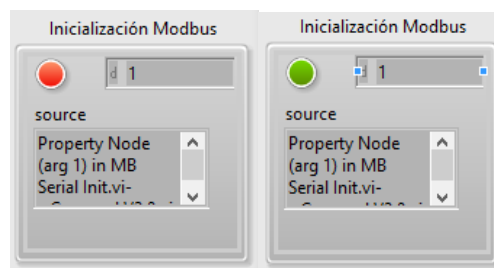


Figura 10. Comunicación no establecida y comunicación establecida respectivamente

Debajo del cuadro de comunicaciones, es posible ver también el control del tiempo de iluminación de las lámparas fluorescentes de la cámara de ambiente controlado. El control de la iluminación puede realizarse a través de seis cuadros de configuración, en se ingresan las horas de encendido y apagado de cada espacio del día (Luz Mañana, Luz Atardecer y Luz Mediodía). La iluminación tiene una configuración predeterminada (Figura 11), pero es posible cambiarla modificando los parámetros de cada cuadro.

Parámetros Encendido/ Apagado Luz Mañana	Parámetros Encendido/ Apagado Luz Atardecer	Parámetros Encendido/ Apagado Luz Mediodía
Hora Inicial Mañana 06:00 a. m.	Hora Inicial Atardecer 04:00 p. m.	Hora Inicial Mediodía 11:00 a. m.
Hora Final Mañana 11:00 a. m.	Hora Final Atardecer 07:00 p. m.	Hora Final Mediodía 04:00 p. m.

Figura 11. Configuración predeterminada de las lámparas fluorescentes de la cámara

Si se desea volver al menú principal dar *click* en el botón **MENÚ** y si se desea detener el *software* debe volver al menú principal y luego oprimir el botón **SALIR**.

3. Conoce la Cámara de Ambiente Controlado

Al acceder a la ventana del *software* “CONOCE LA CÁMARA DE AMBIENTE CONTROLADO” desde el menú principal, es posible conocer un poco más acerca del manejo de la cámara de ambiente controlado y del *software* como tal (Figura 12).

Figura 12. Ventana de Introducción del *software* ConLabCAC_V1.0

En esta ventana es posible visualizar el funcionamiento de los tres indicadores de las lámparas fluorescentes (Figura 13) y los indicadores de funcionamiento de la nebulización, los ventiladores, el compresor y el sistema de calefacción de la cámara (Figura 14). Estos indicadores muestran en tiempo real lo que sucede en la cámara de ambiente controlado.

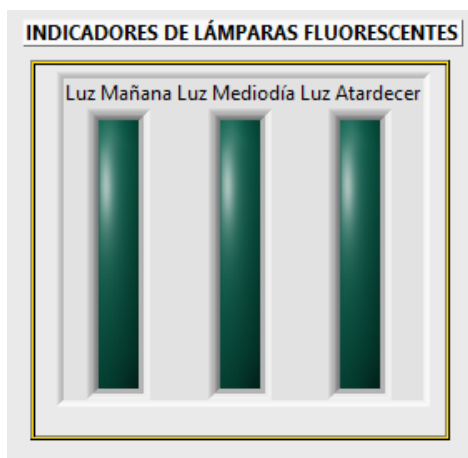


Figura 13. Indicadores de las lámparas fluorescentes de la cámara de ambiente controlado

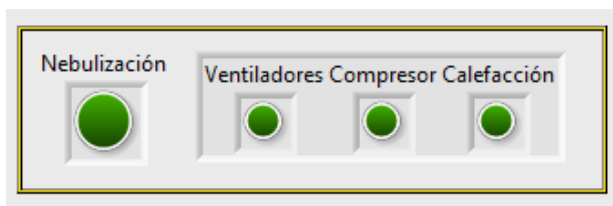


Figura 14. Indicadores de funcionamiento de la nebulización, los ventiladores, el compresor y el sistema de calefacción de la cámara.

Desde el cuadro llamado **Control Duty Cycle (0.1%)** es posible controlar el ciclo útil de la resistencia de calefacción de 1500 W de la máquina con valores entre 0 y 800 (0 - 80%). El indicador amarillo es una alarma de Duty Cycle que se enciende si el valor real registrado por el PLC de la cámara no coincide o dista del ingresado en el cuadro **Control Duty Cycle (0.1%)**. **Nota:** Si éste indicador se enciende se debe verificar el estado de las comunicaciones.

Ante los cambios del ciclo útil (**Control Duty Cycle (0.1%)**) es posible ver variaciones en la temperatura que se indican en el cuadro de **Temperatura (°C)**. En el cuadro de gráfica a la derecha del control del ciclo útil se puede observar la gráfica de la temperatura en el tiempo. Los ejes de la gráfica se pueden cambiar según se requiera, modificando sus valores extremos.

Para la humedad relativa existen dos cuadros, en **Referencia (HR%)** es posible introducir el valor al cual se quiere que llegue la humedad relativa (por defecto es 50%) y en **Humedad Relativa (HR%)**, es posible observar la humedad relativa real registrada por la cámara. De la misma forma que para

la temperatura, hay una gráfica a la derecha para la visualización de la humedad relativa y la referencia de ésta en el tiempo.

Si se desea volver al menú principal dar *click* en el botón **MENÚ** y si se desea detener el *software* oprimir el botón **STOP**. Tener en cuenta que cuando se regrese al menú deben desactivarse primero los botones **CONTROLAR** y **REGISTRAR DATOS**.

4. Modelizado de la Cámara

Al acceder a la ventana del *software* “MODELIZADO DE LA CÁMARA” desde el menú principal, es posible obtener datos para obtener modelos de la cámara de ambiente controlado de primer orden y orden superior (Figura 15).

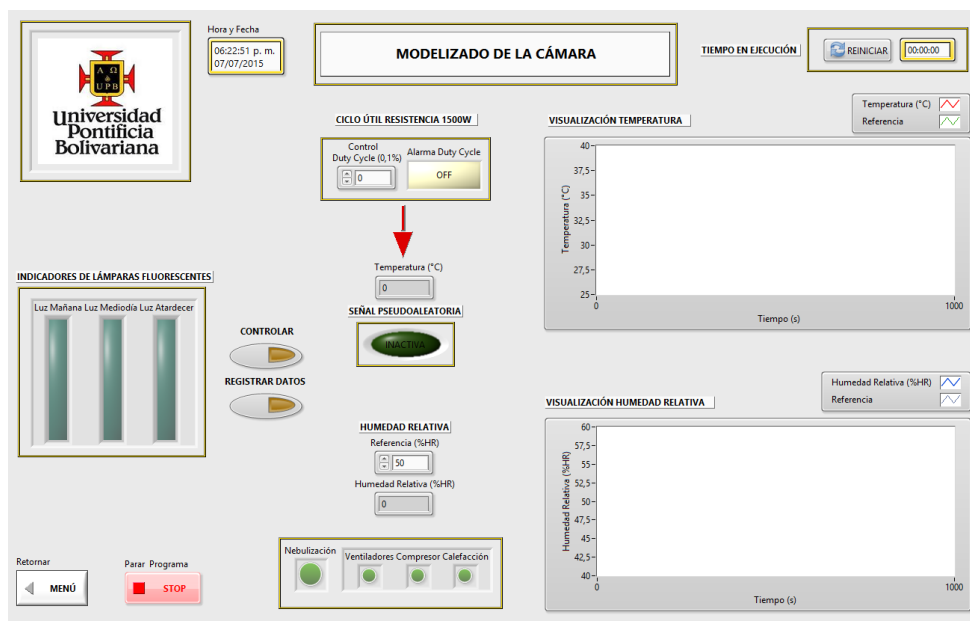


Figura 15. Ventana de Modelizado de la cámara del *software* ConLabCAC_V1.0

En esta ventana todos los indicadores, gráficas y los cuadros (**Control Duty Cycle (0.1%)**), **Temperatura (°C)**, **Referencia (HR%)** y **Humedad Relativa (HR%)** funcionan de la misma manera que en la sección 3 (conoce la cámara de ambiente controlado), excepto la función del indicador de la señal pseudoaleatoria.

Esta rutina se activa al pulsar el botón **CONTROLAR**. En ese momento la cámara se polariza por 2 horas en un valor de ciclo útil de zona lineal ingresado en **Control Duty Cycle (0.1%)**, transcurrido el tiempo se activa una señal pseudoaleatoria mostrada en la Figura 16. La señal pseudoaleatoria es simplemente variaciones del ciclo útil de la resistencia de calefacción de 1500W en un tiempo de 2 horas y en un rango de ciclo útil entre 300 y 500. El estado activo o inactivo de la señal pseudoaleatoria se muestra a través del indicador localizado abajo del cuadro **Temperatura (°C)** (Figura 17). La señal pseudoaleatoria cambia el ciclo útil cada 30 minutos.

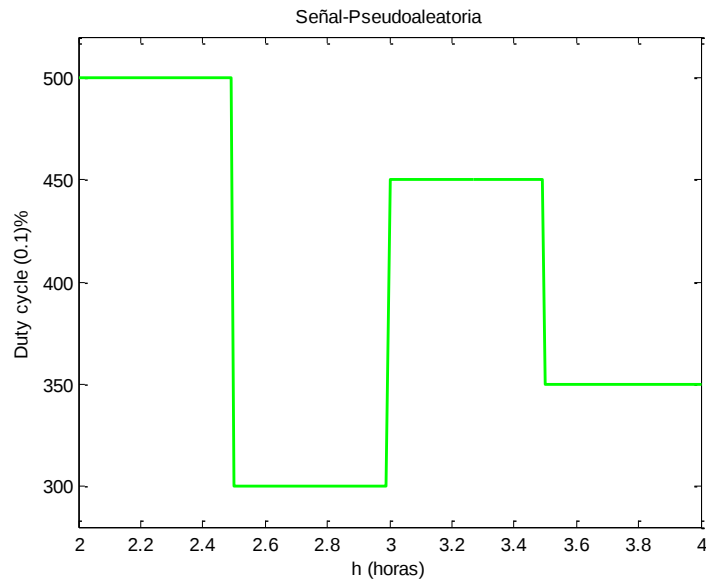


Figura 16. Señal Pseudoaleatoria



Figura 17. Indicador del estado activo e inactivo de la señal pseudoaleatoria

Cuando el tiempo de ejecución es de 4 horas la señal pseudoaleatoria termina y el ciclo útil queda en un valor de 400 predeterminado. En este momento ya se puede parar el programa y ver los resultados en el archivo .csv.

Si se desea volver al menú principal dar *click* en el botón **MENÚ** y si se desea detener el *software* oprimir el botón **STOP**. Tener en cuenta que cuando se regrese al menú deben desactivarse primero los botones **CONTROLAR** y **REGISTRAR DATOS**.

5. Laboratorio 2. Control Convencional PID

Cuando se accede a la ventana del *software* “CONTROL CONVENCIONAL PID” desde el menú principal, es posible implementar y sintonizar controladores PID para el sistema de calefacción y específicamente la variable temperatura de la cámara de ambiente controlado (ver Figura 18).

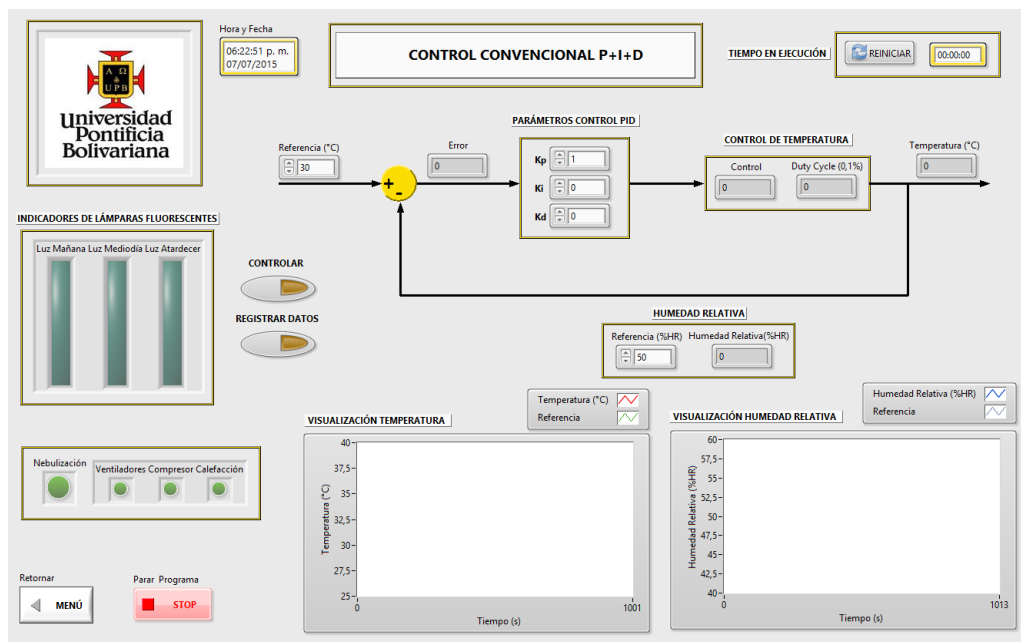


Figura 18. Ventana de Control convencional PID del software ConLabCAC_V1.0

La función de los indicadores, gráficas y los cuadros **Referencia (HR%)** y **Humedad Relativa (HR%)** es la misma que en la sección 3 (conoce la cámara de ambiente controlado).

En la ventana se observa el lazo cerrado de control que se le aplica al sistema de temperatura de la cámara de ambiente controlado (ver Figura 19). A la entrada del lazo de control se encuentra el cuadro **Referencia (°C)** donde se debe ingresar el valor de temperatura al cual se desea llevar el ambiente de la cámara, es decir, el *set-point* que debe ser un valor entre 10°C y 47°C. Así mismo, hay tres espacios para ingresar los valores de los parámetros del controlador PID (**Kp**, **Ki**, **Kd**).

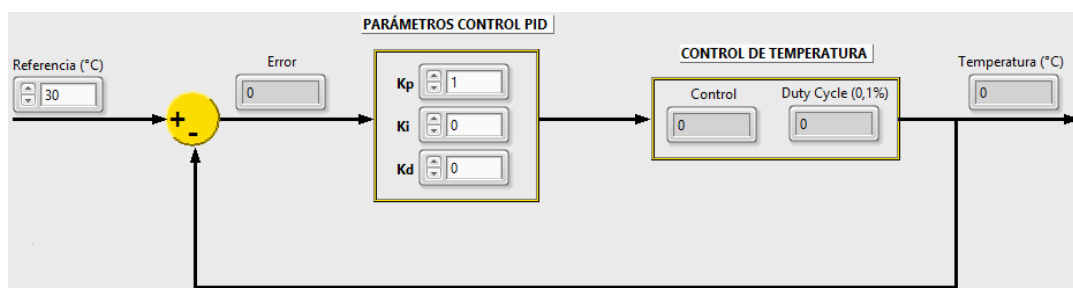


Figura 19. Lazo cerrado de control con realimentación unitaria de la ventana de control PID

Cuando la referencia de temperatura y los parámetros del control sean ingresados al software y los botones **CONTROLAR** y **REGISTRAR DATOS** sean activados, se puede observar que en el cuadro de control de temperatura se muestra el valor de salida del controlador entre 0 y 800 (**Control**) y el valor real del Duty Cycle registrado por la máquina (**Duty Cycle (0,1%)**).

De igual manera, a la salida del lazo del control se encuentra el cuadro **Temperatura (°C)** donde es posible visualizar el valor real de la temperatura registrada en la cámara. También se encuentra un cuadro que permite visualizar la diferencia entre la referencia y la temperatura real y que se llama **Error** y en la parte superior de la ventana el espacio donde en tiempo real se muestra la gráfica de la temperatura de la cámara y la referencia o set-point de esta misma variable en el tiempo.

Durante la ejecución, si se requiere cambiar la referencia de temperatura o humedad relativa o los parámetros de control como tal, es necesario oprimir la tecla ENTER para que el cambio tenga efecto.

Si se desea volver al menú principal dar *click* en el botón **MENÚ** y si se desea detener el *software* oprimir el botón **STOP**. Tener en cuenta que cuando se regrese al menú deben desactivarse primero los botones **CONTROLAR** y **REGISTRAR DATOS**

6. Laboratorio 3. Control Lógica Difusa

Cuando se accede a la ventana del *software* “CONTROL LÓGICA DIFUSA” desde el menú principal, es posible implementar controladores de lógica difusa para el sistema de calefacción y específicamente la variable temperatura de la cámara de ambiente controlado (Figura 20).

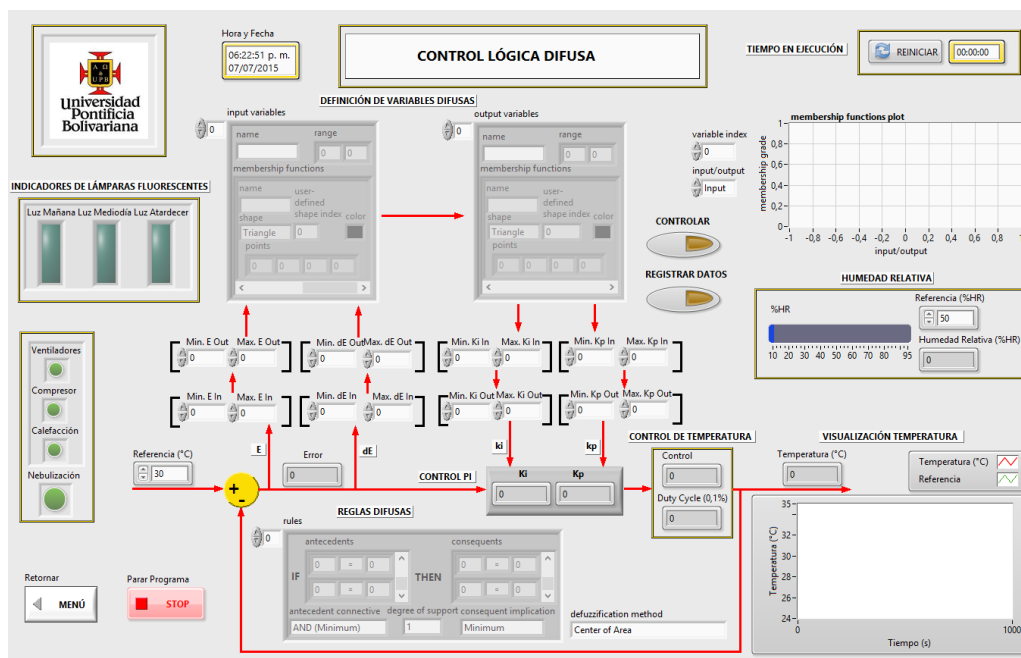


Figura 20. Ventana de Control Lógica Difusa del *software* ConLabCAC_V1.0

En la parte inferior de la ventana se observa un lazo cerrado de control con realimentación unitaria. El control difuso lleva a cabo la sintonía en tiempo real de los parámetros de un controlador PI, en respuesta al error en la variable controlada y su derivada (ver figura 21).

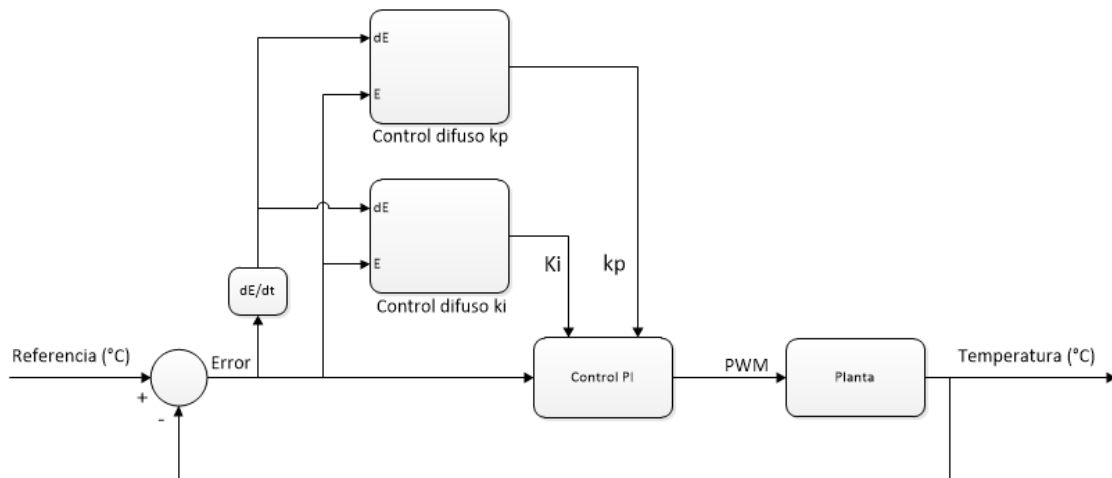


Figura 21. Diagrama de control utilizado en la ventana de control difuso del *software* ConLabCAC_V1.0

A la entrada del lazo de control se encuentra el cuadro “Referencia (°C)” donde se debe ingresar el valor de temperatura al cual se desea llevar el ambiente de la cámara, es decir, el set-point (debe ser un valor entre 10°C y 47°C). De la misma manera, para que el *software* ejecute el control PI es necesario ingresar los parámetros de los controladores difusos, es decir, los parámetros de las variables de entrada y salida del controlador, las reglas difusas y el método de defusificación.

Definición de las variables difusas

Variables de entrada y variables de salida (input variables and output variables): para ingresar las variables de entrada y de salida se dispone de los cuadros de la Figura 22.

- a.** Especifica o denota cual es el número de cada variable que se ingresa. En este caso es un sistema MIMO de 2 variables de entrada (error y derivada del error) y dos variables de salida (K_p y K_i), por lo tanto hay 2 valores activos en el indicador **a.** de la Figura 22 (0 para el error y 1 para la derivada del error)
- b.** En el primer cuadro llamado **name** se especifica el nombre de la variable de entrada o de salida según el cuadro, por ejemplo, en el caso de las variables de entrada si **a.** de la Figura 22 es 0 entonces **b.** de la misma Figura, sería error y si **a.** es 1 entonces **b.** sería derivada del error. Para las variables de salida se hace lo mismo pero con k_p y k_i .
- c.** En el cuadro llamado **range** se especifica el rango de la variable. El primer espacio es para el valor mínimo y el segundo para el valor máximo. Se recomienda usar [-1, 1] para los valores de entrada y [0,1] para los de salida.
- d.** En el segundo cuadro **name** se especifica el nombre de la función de membresía como tal, por ejemplo (frio, tibio, caliente).
- e.** En **shape** se selecciona la forma de la función de membresía (Triangular, Trapezoidal, Gaussiana, Singleton, o Sigmoidea).
- f.** En el cuadro llamado **color** no es necesario seleccionar ningún color en específico debido a que el software establece de forma predeterminada uno diferente para cada función de membresía.

- g.** En **points** se eligen los valores que delimitan la posición de la función de cada membresía en el universo de la variable.
- h.** La barra de desplazamiento horizontal, permite definir varias funciones de membresía para cada variable de entrada o de salida. Es necesario que la barra de scroll esté ubicada a la izquierda para comenzar. Después de la asignación de cada función, debe pulsarse una vez la flecha de la derecha para asignar una nueva función de membresía.

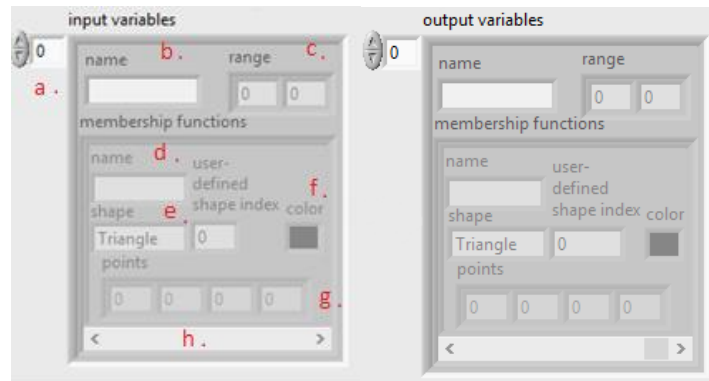


Figura 22. Cuadros de ingreso de variables de entrada y de salida

Cuando las variables de entrada y de salida estén configuradas es posible observar la conformación completa de las funciones de membresía en el espacio mostrado en la Figura 23, al pulsar el botón **CONTROLAR** (es necesario esperar unos segundo para que cargue la gráfica).

En **variable index** se selecciona la variable de entrada o salida, teniendo en cuenta el indicador del literal **a.** de la Figura 22 y en **input/output** se selecciona que función de membresías se desea ver, si la de una variable de entrada o la de una variable de salida. El cambio entre la visualización de las gráficas de las funciones de membresía de entrada y de salida a veces no es instantánea, es necesario esperar algunos segundos y requiere que el botón **CONTROLAR** siga activado.

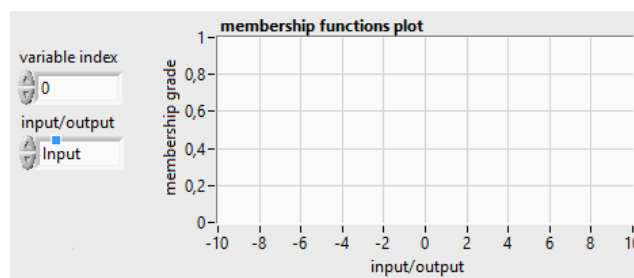


Figura 23. Espacio de visualización de las funciones de membresías para las variables de entrada y salida

Nota: Una vez se visualicen la funciones de membresía se debe desactivar el botón **CONTROLAR** para comenzar a ingresar las reglas del controlador difuso. Ésta acción es necesaria para que la cámara de ambiente controlado se mantenga en condiciones seguras de temperatura y evitar un paro por sobre temperatura de la máquina.

Reglas difusas

Rules: Para ingresar las reglas difusas se usa la rutina gráfica que se visualiza en la Figura 24.

- a. Especifica el número de la regla que se está ingresando comenzando en cero.
- b. Se ingresan los antecedentes de la regla con cada variable de entrada. IF **variable de entrada (denotada a. en la Figura 22)** = **función de membresía de la variable de entrada (denotada d. en la Figura 22)**. **Nota:** la función de membresía tiene asignado un número a través de un conteo ascendente que comienza en cero. Por ejemplo, si el usuario ingreso 3 funciones de membresía a una variable (bajo, medio y alto), el número que se le asigna es 0,1 y 2 respectivamente.
- c. La barra de desplazamiento vertical, permite al usuario a acceder a nuevos espacios para ingresar nuevos antecedentes de las reglas, según el número de variables de entrada que sean definidas. La barra de desplazamiento debe estar ubicada en la parte superior para comenzar a definir las reglas.
- d. Se ingresa los consecuentes de la regla. IF....THEN **variable de salida (denotada a. en la Figura 22)** = **función de membresía de la variable de salida**. La función de la barra de desplazamiento vertical es la misma que para los antecedentes (denotada c. en la Figura 24).
- e. Especifica el conectivo algebraico de los antecedentes de la regla (AND (Minimum), AND (Product), OR (Maximum), OR (Probabilistic)). Este conectivo indica cómo se calcula el valor de verdad de la regla agregada.
- f. Especifica la implicación algebraica de los consecuentes (Minimum o Product). En esta casilla se especifica el método de implicación usado para escalar las funciones de membresía de las variables de salida basada sobre el peso de las reglas.
- g. Degree of support es por defecto 1. Especifica el peso entre 0 y 1 que se quiere aplicar a la regla. El valor de esta casilla se multiplica por el valor de verdad del antecedente de la regla, para calcular el peso de la regla.

The image shows a graphical user interface window titled "rules". On the left, there is a vertical scroll bar and a small icon. The main area is divided into two columns: "antecedents b." and "consequents d.". Each column contains a table with two rows and two columns, separated by an equals sign. The first row in each table has a value of "0". Below these tables, there are four labels: "antecedent connective", "degree of support", "consequent", and "implication". Under "antecedent connective" is a dropdown menu showing "AND (Minimum)" with a label "e." to its right. Under "degree of support" is a text input field with the value "0" and a label "g." to its right. Under "consequent" is a dropdown menu showing "Minimum" with a label "f." to its right. The label "c." is positioned between the two main columns, near the vertical scroll bars.

Figura 24. Cuadro de ingreso de reglas difusas

En la Figura 25 se observa el cuadro en donde se selecciona el método de defusificación con el que se decide finalmente el valor de salida de las reglas. Este cuadro tiene disponible 5 opciones diferentes entre ellas está Centro de Área, Centro de Área Modificado, Centro de Sumas, Centro de Máximos y Media de Máximos.

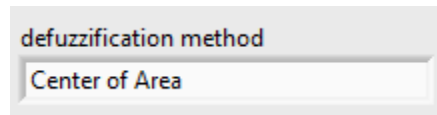


Figura 25. Cuadro de selección del método de defuzzificación

Dentro del lazo indirecto mostrado en la ventana, se pueden observar 8 espacios para definir los rangos de ajuste de las variables de entrada y de salida del controlador difuso (Error, derivada del error y k_i , k_p , respectivamente) a las unidades adecuadas para la planta, cada rango está compuesto por un valor mínimo y un valor máximo como se muestra en la Figura 26.

Figura 26. Cuadros para ingresar los rangos de adecuación de la variable

La definición de los rangos de normalización de variables permite que internamente el programa realice interpolaciones o extrapolaciones, según el caso. Tomando la variable de entrada ERROR se tiene la Tabla 1 como ejemplo, donde el **Punto interpolado** (valor normalizado) se calcula de acuerdo a la definición del rango de entrada y el valor actual del **Error** entregado por el lazo realimentado. En caso, de que el error este por fuera de los rangos definidos el programa extrapola.

Tabla 1. Normalización de variables con interpolación o extrapolación

Rango de entrada	de	Rango de salida
Min. E In		Min. E Out
Error		Punto interpolado
Max. E In		Max. E Out

De la misma forma el programa normaliza el resto de variables de entrada y de salida.

Para la humedad relativa existen dos cuadros, en “Referencia (HR%)” es posible introducir el valor al cual se quiere que llegue la humedad relativa (por defecto es 50%) y en “Humedad Relativa

(HR%)”, es posible observar la humedad relativa real registrada por la cámara. Además del indicador numérico para esta variable, se cuenta con indicador de barra horizontal que registra y muestra la humedad relativa.

Si se desea volver al menú principal dar *click* en el botón **MENÚ** y si se desea detener el *software* oprimir el botón **STOP**. Tener en cuenta que cuando se regrese al menú deben desactivarse primero los botones **CONTROLAR** y **REGISTRAR DATOS**.